两近缘种烟草上棉铃虫种群适合度的比较研究

付晓伟,郭线茹[*],原国辉,罗梅浩,杨文玲,赵东升

(河南农业大学植物保护学院,郑州 450002)

摘要:分别在室内和自然条件下,比较研究了普通烟草和黄花烟草两种不同寄主植物上棉铃虫生长发育、食物转化和利用及种群增长情况。结果表明:(1) 室内 26 ± 1℃、75% ± 5% RH 和 16L:8D 光周期条件下,与普通烟草相比,黄花烟草上幼虫的发育历期显著延长,1 龄和 2 龄幼虫的存活率及雌蛾产卵量显著下降,种群净增殖率(R_0 = 30.5374)和内禀增长率(r_m = 0.0951)减小;(2) 6 龄幼虫对两种烟草的近似消化率及其相对生长率无显著差异,但对黄花烟草的利用率和转化率显著下降,相对取食量显著提高;(3) 第 2 代棉铃虫在普通烟田的种群增长(I = 1.9922 > 1)比黄花烟田(I = 1.1581 > 1)快,"烟草和其他"对种群起主要控制作用,特别是对低龄幼虫;第 3 代棉铃虫在普通烟田的种群增长有所减慢但仍呈上升趋势(I = 1.5994 > 1),而在黄花烟田则呈下降趋势(I = 0.6434 < 1),低龄幼虫受烟草抗性和雨水等的影响较大,高龄幼虫被病菌感染的数量增多。这些结果表明,与普通烟草相比,黄花烟草不适合棉铃虫种群的增长和繁殖。

关键词:棉铃虫;烟草;种群适合度;生命表;食物利用;食物转化;生态调控

中图分类号:Q968 **文献标识码**:A **文章编号**:0454-6296(2008)07-0728-10

A comparative study of the population fitness of *Helicoverpa armigera* (Hübner) on two tobacco species, *Nicotiania tabacum* and *N. rustica*

FU Xiao-Wei, Guo Xian-Ru[*], YUAN Guo-Hui, LUO Mei-Hao, YANG Wen-Ling, ZHAO Dong-Sheng

(College of Plant Protection, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China)

Abstract: Effects of *Nicotiania tabacum* and *N. rustica* on the development, food utilization and population growth of *Helicoverpa armigera* (Hübner) under both experimental and natural conditions were studied comparatively. The results showed that: (1) In laboratory condition with 26 ± 1℃, relative humidity of 75% ± 5% and photoperiod of 16L:8D, when reared on *N. rustica*, the development duration of *H. armigera* larvae significantly prolonged, while the survival rate of both 1st and 2nd instar larvae and the fecundity of female adults reduced notably, the net reproductive rate (R_0 = 30.5374) and innate capacity of increase (r_m = 0.0951) decreased compared with those reared on *N. tabacum*. (2) There were no significant differences in the approximate digestibility (*AD*) and the relative growth rate (*RGR*) of the 6th instar larvae reared in the two tobacco species. Compared to the larvae feeding on *N. tabacum*, both the efficiency conversation of ingestion (*ECI*) and digestion (*ECD*) to *N. rustica* significantly decreased, while the relative consumption rate (*RCR*) increased significantly. (3) The 2nd generation population of *H. armigera* in *N. tabacum* fields (I = 1.9922 > 1) increased faster than that in *N. rustica* fields, which were influenced mainly by "tobacco and others", especially in early stage of larvae. The increase of the 3rd generation population slowed down in *N. tabacum* fields (I = 1.5994 > 1), which declined in *N. rustica* fields (I = 0.6434 < 1). The early stage larvae were mainly affected by tobacco resistance and rainfalls, while the late stage larvae were infected easily by pathogens. These results showed that *N. rustica* was less suitable to the reproduction and increase of *H. armigera* compared to *N. tabacum*.

Key words: *Helicoverpa armigera*; tobacco; population fitness; life table; food utilization; food conversion; ecological regulation

---

基金项目:河南省杰出青年科学基金(074100510013)

作者简介:付晓伟,男,1983 年生,河南南阳人,硕士研究生,主要从事昆虫生态与分子生物学研究,E-mail:fxw1983@126.com

[*] 通讯作者 Author for correspondence, E-mail:xrguod@sina.com

收稿日期 Received:2008-01-24;接受日期 Accepted:2008-04-10

棉铃虫 *Helicoverpa armigera*（Hübner）属鳞翅目（Lepidoptera）夜蛾科（Noctuidae），是一种世界性农业害虫，其寄主植物多达 30 余科 200 多种，嗜食棉花、烟草和番茄等（Tang *et al*.，2000），在我国，除在西藏地区为害的西藏棉铃虫 *H*. *tibetensis* Hardwick 外，棉铃虫在各省（区）均有发生，尤以黄河流域和长江流域发生最重（郭予元，1998）。20 世纪 90 年代初期，该虫曾在全国特别是北方地区连年暴发，对我国农业生产的持续稳定发展构成了极大威胁，仅 1992 年的暴发危害，就造成直接经济损失逾百亿元（王琛柱和钦俊德，2007）。因此，揭示棉铃虫的灾变规律及其生态学机制，对于革新关键防治技术和生态控制棉铃虫有着重大意义。

寄主植物、天敌和气象因素等是调节棉铃虫种群发生消长的重要因子（柏立新等，1997；夏敬源等，2000；谭声江等，2002；邓曙东等，2003）。自 Morris 等（1954）应用生命表研究枞色卷蛾 *Choristoneura fumiferana*（Clem.）的自然种群动态以来，该技术已成为评价寄主植物抗性、昆虫种群动态和发展趋势的有效方法（吴坤君等，1978，1979，1993；吴子江，1983；Singh and Parihar，1988；戴小枫等，1991；侯茂林和盛承发，2000；陈法军等，2004；周忠实，2007）。在此基础上，庞雄飞（1990）提出以作用因子组配生命表，用相应的排除作用控制指数（the exclusion index of population control）分析评价各种作用因子的控制作用，该方法已被成功地应用于多种天敌的控害效果研究（庞雄飞和梁广文，1995；何余容等，2000；吕利华等，2003）。

烟草是我国重要的经济作物，目前栽培利用的商品烟草主要是普通烟草 *Nicotiana tobacum* L.和黄花烟草 *N*. *rustica* L.（蒋予恩，1994）。棉铃虫是危害烟草的重要害虫。我们在研究中发现，室内普通烟草对棉铃虫有较强的产卵引诱活性，落卵量显著多于黄花烟草；而在两种烟草的混栽田，黄花烟草上棉铃虫和烟夜蛾的混合落卵量却明显高于普通烟草，如 2000 年在河南宜阳县的调查结果表明，同样管理水平下，烟草全生育期平均百株累计落卵量在黄花烟田高达 15 120 粒，而与之相邻的普通烟田仅有 42 粒（蒋金炜等，2003；罗梅浩等，2006）。为探明亲代成虫的产卵趋性差异与其后代种群发展之间的关系，作者构建了棉铃虫在这两种烟草上的实验种群和自然种群生命表，借以分析二者对棉铃虫寄主适合度的差异，评价两种烟田主要环境因子对棉铃虫种群的抑制效果，期望为强化寄主抗性和自然因子的控害作用、改进生态调控措施等提供理论依据。

1　材料与方法

1.1　供试材料

供试植物普通烟草 *Nicotiania tobacum* L.（品种：K326）和黄花烟草 *N*. *rustica* L.（品种：马合烟）由河南农业大学农学院烟草学系提供，在室内培养至 4 片真叶时移栽到河南农业大学科教园区试验田，株行距 = 50 cm × 100 cm。烟草全生育期不施任何杀虫剂，其他栽培管理措施同常规。

在烟田采集棉铃虫的老熟幼虫，室内化蛹后将雌、雄蛹分开，待成虫羽化鉴定和区分种类，并饲以 10%蔗糖水，幼虫用人工饲料（Wu and Gong，1997）在人工气候箱内饲养，饲养温度 26 ± 1℃，相对湿度 75% ± 5%，光周期 16L∶8D。

1.2　两种烟草对棉铃虫实验种群增长的影响

1.2.1　幼虫的发育历期和存活率：采集两种烟草植株上、中部同一叶位的嫩叶，用自来水冲去表面异物，再用蒸馏水漂洗，晾去表面水分后用打孔器制成叶碟（d = 6 cm），折卷后放入无菌指形管（$d \times h$ = 2.5 cm × 8 cm）内，每管 1 片（幼虫 3 龄后每管 2 片），将同批初孵幼虫转移到指形管内单头饲养，普通烟草 140 头，黄花烟草 220 头，每天同一时间记录幼虫的存活和脱皮情况（以脱下的皮或头壳为准），并更换新鲜烟叶，直至化蛹。

1.2.2　蛹的发育历期、重量和存活率：幼虫化蛹后转移到新的无菌指形管中，每管 1 头，将湿滤纸（$l \times w$ = 6 cm × 1 cm）贴于管壁保湿，普通烟草 49 头，黄花烟草 42 头，每天记录蛹的存活数（以毛笔触动蛹体，5 秒钟内腹部不摆动者为死亡），第 3 天鉴定蛹的雌雄，并逐个称重（精确至 0.01 mg）。每天在滤纸上加 100 μL 蒸馏水，直至成虫羽化。

1.2.3　成虫的寿命和产卵量：两种烟草上同日羽化的成虫，各自按♀∶♂ = 1∶1 配对，置于透明广口塑料瓶（容积 1.0 L）内，每瓶 1 对，将浸有成虫饲料的脱脂棉置于瓶底，瓶口盖上单层脱脂纱布供成虫产卵，定时在纱布上喷水保湿，逐日记录成虫的存活数和纱布上的卵粒数，补充成虫饲料并更换新纱布，直到所有成虫死亡。普通烟草共观察 42 头，黄花烟草 37 头。

1.2.4　卵的发育历期和孵化率：当两种烟草上羽化的成虫达产卵高峰时，分别标记同一天产的卵

150 粒以上,放于倒置的下铺湿滤纸的培养皿中,每天记录孵出的幼虫数,至无幼虫孵出止。

1.3 6 龄幼虫对两种烟草的利用和转化

组建生命表的同时,用同样方法各饲养一批幼虫,进入 5 龄第 2 天时,转移到没有食物的无菌指形管内,每管 1 头,待幼虫进入 6 龄(5 龄化蛹的不计):(1)各取 10 头称取鲜重,80℃烘干至恒重后测含水量。(2)再各取 10 头称取鲜重,根据测得的含水量推算出试前幼虫干重(C),然后分别饲以两种烟草叶片,48 h 后取出剩余食物并饥饿 6 h 使其排空粪便,将试虫和粪便烘干至恒重,得到试后幼虫干重(D)和粪便干重(E)。(3)同法得到试前烟叶干重(A)和试后烟叶干重(B),计算各营养指标(张勇等,2006):幼虫相对生长率 $= (D - C)/\{[(C + D)/2] \times T\}$;幼虫相对取食量 $= (A - B)/\{[(C + D)/2] \times T\}$;食物利用率(%) $= [(D - C)/(A - B)] \times 100$;食物转化率(%) $= [(D - C)/(A - B - E)] \times 100$;近似消化率(%) $= [(A - B - E)/(A - B)] \times 100$。

1.4 棉铃虫自然种群动态的调查

1.4.1 卵和各幼虫期存活率的测定:采用分期接卵(虫)、分期回收法进行调查,即将卵同时定量(均不少于 100 粒)接到两种烟草植株的顶部,并挂牌做好标记,48 h 后回收卵并立即接 1 龄幼虫,再过 48 h 回收 1 龄幼虫并接上 2 龄幼虫,余类推,各龄幼虫接种数均不少于 100 头。

分别将两种烟草上回收的卵带回室内,以损失量作为被捕食的卵粒数,继续观察并记录被寄生的卵粒数,幼虫全部孵化后,记录不孵化的卵粒数。同样,将回收的各龄幼虫带回室内,以损失量作为被捕食的幼虫数,然后移至无菌指形管中单头饲养,逐日观察被寄生和感染病菌的幼虫数,至成虫羽化止。

每次接卵或幼虫前都对烟株进行人工抹卵和除虫。为校正调查的误差,在两种烟田内各设 1 个 60 目的防虫网($l \times w \times h = 12\ \mathrm{m} \times 5\ \mathrm{m} \times 2\ \mathrm{m}$),田间接卵或幼虫的同时,也分别在网内接卵不少于 100 粒、各龄幼虫不少于 50 头,分期回收,以校正自然条件下所调查的卵或幼虫数。

1.4.2 化蛹率的测定:在两种烟田内各设 1 个下端开口的铁纱笼($d \times h = 30\ \mathrm{cm} \times 60\ \mathrm{cm}$),埋于土下 15~20 cm,放入预蛹期的幼虫 30 头以上,让其自行入土,次日剔除未入土的幼虫,统计自然条件下成虫的羽化率。

1.5 数据分析

1.5.1 实验种群生命参数的分析:两种烟草上的幼虫历期、成虫寿命、产卵量等用 DPS 6.55 数据处理系统进行 t-测验;卵孵化率、幼虫存活率的差异比较采用 χ^2 独立性测验。生命表参数根据以下公式(徐汝梅,1987)计算:种群净增殖率 $R_0 = \sum l_x m_x$;世代平均周期 $T = \sum l_x m_x x / \sum l_x m_x$;内禀增长率 $r_m = (\ln R_0)/T$;周限增长率 $\lambda = e^{r_m}$;种群加倍时间 $t_d = \ln 2/r_m = 0.6931/r_m$,式中 l_x 表示 x 期间的存活率,m_x 表示 x 期间平均每雌产雌数。

1.5.2 存活率曲线的分析:根据威布尔频数分布理论模型(Weibull frequency distribution) $S(t) = \exp[-(t/b)^c]$,拟合特定年龄的存活率曲线,式中 $S(t)$为年龄 t 时的死亡率,b 为尺度参数,c 为形状参数。当 $c > 1$ 时,死亡率是年龄的增函数;当 $c = 1$ 时,死亡率为一常量;当 $c < 1$ 时,死亡率是年龄的降函数。拟合后进行柯尔莫哥诺夫-斯米尔诺夫检验(Kolmogorov-Smirnor test),分析存活率最终为零的存活曲线(郭建英等,2006)。以上数据用统计软件 SPSS11.5 进行分析。

1.5.3 自然种群生命表的组建及分析:以作用因子组建棉铃虫在两种烟田内的自然种群生命表(庞雄飞和梁广文,1995),种群趋势指数 $I = N_2/N_1 = S_1 S_2 S_3 \cdots S_K F P_F P_♀$,式中 N_1、N_2 为当代和下代的种群数量,S_1,S_2,$S_3 \cdots S_K$ 为各作用因子相对应的存活率,$P_♀$ 为雌性比,F 为雌虫最高产卵量(生殖力),P_F 为实际产出率(实际生殖力/最高生殖力);用排除作用控制指数 $EIPC(S_i) = I'/I = \frac{S_1 S_2 S_3 \cdots 1 \cdots S_K F P_F P_♀}{S_1 S_2 S_3 \cdots S_i \cdots S_K F P_F P_♀} = 1/S_i$ 评价各作用因子的控制效果。

2 结果与分析

2.1 两种烟草对棉铃虫生长发育和繁殖的影响

2.1.1 卵和幼虫的发育历期:幼虫取食普通烟草和黄花烟草后,有 5 龄化蛹(分别为 34.69% 和 50.00%)和 6 龄化蛹(分别为 65.31% 和 50.00%)的,未发现有 7 龄化蛹的。在黄花烟上,卵、1 龄和 2 龄幼虫的发育历期显著长于普通烟上,3~6 龄幼虫的发育历期在两种烟草上无显著差异,幼虫期在黄花烟上较长,达 18.57 天(表 1)。

表 1　用两种烟草饲养时棉铃虫卵和幼虫的发育历期(d)

Table 1　Developmental duration of eggs and larvae of *H. armigera* reared on two tobacco species

烟草种类 Tobacco species	卵 Eggs	幼虫期 Larval stage						
		1 龄 1st instar	2 龄 2nd instar	3 龄 3rd instar	4 龄 4th instar	5 龄 5th instar	6 龄 6th instar	合计 Total
普通烟草 *N. tabacum*	2.21 ± 0.52 A	4.33 ± 0.88 A	3.18 ± 0.65 A	2.44 ± 0.64 A	2.03 ± 0.48 A	2.33 ± 0.72 A	2.69 ± 0.64 A	16.10 ± 2.51 A
黄花烟草 *N. rustica*	2.47 ± 0.79 B	5.49 ± 0.82 B	4.44 ± 0.80 B	2.57 ± 0.76 A	2.17 ± 0.55 A	2.13 ± 0.68 A	2.48 ± 0.60 A	18.57 ± 1.94 B

表中数据为平均值 ± 标准差，同列数据后不同的大写字母表示两种烟草间差异极显著（*t*-测验，$P \leqslant 0.01$）。Data in the table are mean ± *SD*, and those in the same column followed by different capital letter show significant difference between *N. tabacum* and *N. rustica* at $P \leqslant 0.01$ level by *t*-test.

2.1.2　幼虫对两种烟草的利用和转化：从食物的利用和转化效率（表 2）可以看出，6 龄幼虫对两种烟草的近似消化率和相对生长率无显著差异，但对黄花烟草的利用率和转化率显著降低，相对取食量显著提高，说明幼虫不能有效地将取食的黄花烟草转化为自身营养，但能通过增加取食量来满足生长发育的需要。

2.1.3　蛹期、蛹重和成虫的繁殖力：两种烟草上雄蛹的历期均比雌蛹长。与普通烟草相比，黄花烟草上雌、雄蛹的历期显著延长，雌蛹重量显著减轻，雌性比下降（小于 1），雌蛾的产卵期及雌雄蛾的寿命显著缩短，产卵量也显著减少，但产卵前期与普通烟草上的无显著差异（表 3）。

2.1.4　特定年龄的存活率：由表 4 可知，黄花烟草上 1 龄和 2 龄幼虫的存活率显著低于普通烟草上，而卵的孵化率、3 ~ 6 龄各期幼虫的存活率及羽化率在两种烟草上无显著差异。

表 2　两种烟草对棉铃虫 6 龄幼虫营养参数的影响

Table 2　Effects of two tobacco species on the nutritional parameters of the 6th instar larvae of *H. armigera*

参数 Parameters	普通烟草 *N. tabacum*	黄花烟草 *N. rustica*
相对生长率 *RGR* (mg/mg/d)	0.37 ± 0.05 a	0.33 ± 0.01 a
相对取食量 *RCR* (mg/mg/d)	1.83 ± 0.17 a	1.97 ± 0.07 b
近似消化率 *AD* (%)	61.58 ± 12.28 a	59.96 ± 7.07 a
食物利用率 *ECI* (%)	32.99 ± 2.94 A	28.32 ± 2.27 B
食物转化率 *ECD* (%)	20.08 ± 3.16 a	16.85 ± 2.88 b

表中数据为平均值 ± 标准差，同行数据后不同的小写或大写字母分别表示两种烟草间存在显著（*t*-测验，$P \leqslant 0.05$）或极显著（*t*-测验 $P \leqslant 0.01$）差异。表 3 同。Data in the table are mean ± *SD*, and those in the same row followed by different lowercase or capital letter show significant difference between *N. tabacum* and *N. rustica* at $P \leqslant 0.05$ or $P \leqslant 0.01$ level by *t*-test, respectively. The same for Table 3.

RGR = Relative growth rate; *RCR* = Relative consumption rate; *AD* = Approximate digestibility; *ECI* = Efficiency conversion of ingestion; *ECD* = Efficiency conversion of digestion.

表 3　两种烟草对棉铃虫蛹期、蛹重及成虫繁殖力的影响

Table 3　Effects of two tobacco species on the duration and weight of pupae as well as fecundity of female adults of *H. armigera*

指标 Indices	普通烟草 *N. tabacum*	黄花烟草 *N. rustica*
蛹期 Pupal duration (d)		
雌蛹 Female pupa	8.95 ± 1.09 A	11.27 ± 1.10 B
雄蛹 Male pupa	10.20 ± 1.11 A	12.14 ± 1.32 B
蛹重 Pupal weight (mg)		
5 龄幼虫所化的蛹 Pupa from 5th instar larva		
♀	258.68 ± 9.48 a	249.07 ± 8.13 b
♂	249.28 ± 11.12 a	241.65 ± 6.60 a
6 龄幼虫所化的蛹 Pupa from 6th instar larva		
♀	273.21 ± 13.42 a	261.86 ± 7.64 b
♂	255.79 ± 12.36 a	258.32 ± 11.65 a
成虫(♀) Female adult		
性比 Sex ratio (♀:♂)	1.10∶1	0.68∶1
产卵前期 Pre-oviposition duration (d)	1.89 ± 0.76 a	2.08 ± 0.64 a
产卵量(粒) Fecundity	713.83 ± 103.42 A	398.69 ± 87.33 B
产卵期 Oviposition period (d)	12.33 ± 2.54 A	7.00 ± 1.68 B
寿命 Longevity (d)	13.23 ± 4.86 A	9.27 ± 2.22 B
成虫(♂) Male adult		
寿命 Longevity (d)	14.55 ± 2.01 A	11.86 ± 2.01 B

表 4 两种烟草对棉铃虫卵和幼虫存活率(%)的影响

Table 4 Effects of two tobacco species on survival rates (%) of eggs and larvae of *H. armigera*

烟草种类 Tobacco species	卵 Eggs	1 龄 1st instar	2 龄 2nd instar	3 龄 3rd instar	4 龄 4th instar	5 龄 5th instar	6 龄 6th instar	羽化率(%) Emergence rate
普通烟草 *N. tabacum*	78.45 a	61.15 a	78.82 a	95.52 a	95.31 a	90.16 a	89.09 a	85.71 a
黄花烟草 *N. rustica*	72.78 a	47.20 b	62.38 b	88.89 a	92.86 a	90.38 a	89.36 a	88.10 a

同列数据后不同的小写字母表示两种烟草间存在显著差异(χ^2 测验,$P \leqslant 0.05$)。Data in the same column followed by different lowercase letters show significant difference between *N. tabacum* and *N. rustica* at $P \leqslant 0.05$ level by Chi-square test.

以威布尔频数分布理论模型拟合该种群的存活曲线(图 1):

普通烟上:$S(t) = \exp[-(t/17.25)^{0.68}]$,其中 $b = 17.25 \pm 0.67$,$c = 0.68 \pm 0.04$,$R^2 = 0.9214^{**}$。

黄花烟上:$S(t) = \exp[-(t/9.48)^{0.61}]$,其中 $b = 9.48 \pm 0.47$,$c = 0.61 \pm 0.03$,$R^2 = 0.9271^{**}$。

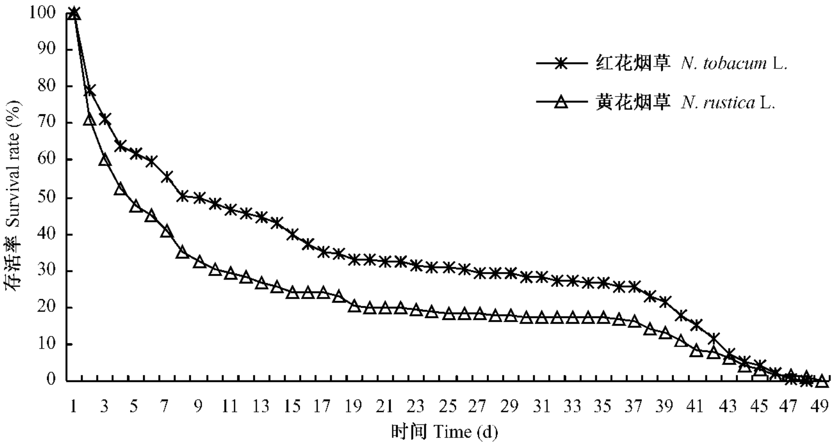

图 1 棉铃虫在两种烟草上的存活曲线(26 ± 1℃)

Fig. 1 The survivorship curve of *H. armigera* on two tobacco species (26 ± 1℃)

结果表明,两种烟草上棉铃虫存活曲线的形状参数 c 均小于 1,说明在两种烟草上棉铃虫幼虫期的死亡率都较高;经 Kolmogorov-Smirnor test 检验,普通烟草上的存活曲线极显著高于黄花烟草上($n_1 = 139$,$n_2 = 214$,$P = 0.009 < 0.01$),表明与普通烟草相比,黄花烟草较不适合棉铃虫的存活。

2.1.5 两种烟草对棉铃虫实验种群增长的影响: 根据单头连续饲养的观察结果,按实际雌雄性比,组建了 26 ± 1℃,75% ± 5% RH 和 16L∶8D 光周期条件下,棉铃虫取食两种烟草的特定年龄生命表及生殖力表,得到了相应的生命参数(表 5)。

表 5 两种烟草对棉铃虫实验种群生命参数的影响

Table 5 Effects of two tobacco species on the parameters in life table of experimental population of *H. armigera*

生命表参数 Life table parameters	普通烟草 *N. tabacum*	黄花烟草 *N. rustica*
净增殖率 R_0	105.6447	30.5374
平均世代周期 T (d)	33.1075	35.9405
内禀增长率 r_m	0.1408	0.0951
周限增长率 λ	1.1511	1.0998
种群加倍时间 t (d)	4.9245	7.2865

R_0 = Net reproductive rate; T = Mean generation time; r_m = Intrinsic rate of increase; λ = Finite rate of increase; t = Population doubling time.

从表 5 可以看出,与普通烟草相比,黄花烟草上棉铃虫实验种群的净增殖率、内禀增长率和周限增长率均减小,平均世代周期和种群加倍时间延长,表明棉铃虫在普通烟草上的生长发育及增殖能力均大于黄花烟草上。这些研究结果与表 1 ~ 4 的结果一致。

2.2 两种烟草对棉铃虫自然种群增长的影响

2.2.1 两种烟田棉铃虫的自然种群生命表: 由表 6 和表 7 可知,第 2 代棉铃虫在普通烟田的种群增长($I = 1.9922 > 1$)比黄花烟田($I = 1.1581 > 1$)快;第 3 代期间,由于高温高湿、雨水冲刷及病原微生物的增多,棉铃虫在普通烟田的种群增长有所减慢但仍呈上升趋势($I = 1.5994 > 1$),而在黄花烟田则呈下降趋势($I = 0.6435 < 1$)。

2.2.2 不同因子对棉铃虫自然种群的控制效果: 将各种因子作用下的存活率换算成排除作用控制指数($EIPC$),得到两种烟田不同因子对棉铃虫第 2 ~ 3 代自然种群的控制作用强度(表 8)。从各个因子的作用效果来看,无论是第 2 代还是第 3 代,普通烟田中对 1 ~ 3 龄幼虫起主要控制作用的是'烟草和其他"

（*EIPC* 分别为 4.1384 和 4.0357），其次是“捕食性天敌”（*EIPC* 分别为 3.5791 和 2.0481），而在黄花烟田中“烟草和其他”（*EIPC* 分别为 12.2103 和 13.5375）所起的控制作用尤其突出；4～6 龄幼虫期，两种烟田中“病原微生物”的控制能力最强，其次是“烟草和其他”，而“捕食性天敌”的控制效果有所下降。

表 6　两种烟田第 2 代棉铃虫的自然种群生命表

Table 6　Natural population life table of *H*. *armigera* in the 2nd generation in two types of tobacco fileds

虫期 x	起始数 l_x		消亡因素 d_xF	消亡数 d_x		存活率 S_x		*EIPC*	
	普通烟草 *N*. *tabacum*	黄花烟草 *N*. *rustica*		普通烟草 *N*. *tabacum*	黄花烟草 *N*. *rustica*	普通烟草 *N*. *tabacum*	黄花烟草 *N*. *rustica*	普通烟草 *N*. *tabacum*	黄花烟草 *N*. *rustica*
卵期 Egg	1000	1000	捕食 Predation	241.6	58.8	$S_1 = 0.7584$	$S_1 = 0.9412$	1.3186	1.0625
			寄生 Parasitism	90.7	89.3	$S_2 = 0.8803$	$S_2 = 0.9052$	1.1359	1.1048
			不孵化 Unhatched	19.4	40.6	$S_3 = 0.9709$	$S_3 = 0.9524$	1.0300	1.0500
			自然损失 Natural loss	63.4	102.2	$S_4 = 0.9022$	$S_4 = 0.8741$	1.1084	1.1441
			合计 Total	415.2	290.8				
1 龄 1st instar	584.8	709.2	捕食 Predation	61.6	132.0	$S_5 = 0.7302$	$S_5 = 0.8138$	1.3696	1.2288
			寄生 Parasitism	107.7	84.9	$S_6 = 0.8947$	$S_6 = 0.8529$	1.1176	1.1724
			病菌 Disease	225.8	17.0	$S_7 = 0.7941$	$S_7 = 0.9655$	1.2593	1.0357
			烟草和其他 Tobacco and others	51.2	334.5	$S_8 = 0.4565$	$S_8 = 0.2963$	2.1905	3.3750
			合计 Total	446.3	568.4				
2 龄 2nd instar	138.5	140.8	捕食 Predation	20.6	33.0	$S_9 = 0.5927$	$S_9 = 0.7660$	1.6873	1.3056
			寄生 Parasitism	14.7	18.7	$S_{10} = 0.8511$	$S_{10} = 0.8269$	1.1750	1.2093
			病菌 Disease	31.4	4.1	$S_{11} = 0.8750$	$S_{11} = 0.9535$	1.1429	1.0488
			烟草和其他 Tobacco and others	29.2	44.1	$S_{12} = 0.6957$	$S_{12} = 0.4815$	1.4375	2.0769
			合计 Total	96.0	99.9				
3 龄 3rd instar	42.5	41.0	捕食 Predation	1.5	7.6	$S_{13} = 0.6456$	$S_{13} = 0.8154$	1.5489	1.2264
			寄生 Parasitism	8.4	4.0	$S_{14} = 0.9643$	$S_{14} = 0.8788$	1.0370	1.1379
			病菌 Disease	7.8	11.1	$S_{15} = 0.7963$	$S_{15} = 0.6207$	1.2558	1.6111
			烟草和其他 Tobacco and others	8.8	7.8	$S_{16} = 0.7609$	$S_{16} = 0.5741$	1.3143	1.7419
			合计 Total	26.5	30.5				
4 龄 4th instar	16.0	10.5	捕食 Predation	0.0	0.8	$S_{17} = 0.7743$	$S_{17} = 0.9277$	1.2915	1.0780
			寄生 Parasitism	1.9	0.0	$S_{18} = 1.0000$	$S_{18} = 1.0000$	1.0000	1.0000
			病菌 Disease	1.5	3.1	$S_{19} = 0.7746$	$S_{19} = 0.6789$	1.2909	1.4730
			烟草和其他 Tobacco and others	0.4	1.1	$S_{20} = 0.8043$	$S_{20} = 0.8333$	1.2432	1.2000
			合计 Total	8.3	5.0				
5～6 龄 5–6th instar	7.7	5.5	捕食 Predation	0.0	0.1	$S_{21} = 0.9138$	$S_{21} = 0.9749$	1.0943	1.0258
			寄生 Parasitism	1.9	0.0	$S_{22} = 1.0000$	$S_{22} = 1.0000$	1.0000	1.0000
			病菌 Disease	1.5	1.9	$S_{23} = 0.7532$	$S_{23} = 0.6518$	1.3276	1.5342
			烟草和其他 Tobacco and others	0.4	0.6	$S_{24} = 0.7391$	$S_{24} = 0.8148$	1.3529	1.2273
			合计 Total	3.8	2.6				
蛹期 Pupa		2.8	土壤微生物等 Microbesin soil *etc*.	1.0	0.3	$S_{25} = 0.7600$	$S_{25} = 0.8800$	1.3158	1.1364
成虫 Adult		2.5	羽化后死亡等 Death after emergence *etc*.	0.3	0.0	$S_{26} = 0.8947$	$S_{26} = 1.0000$	1.1176	1.0000
			雌性比（P♀）			1.125	1.2000		
			最高产卵量（F）			923	587		
			实际产出率（P_F）			0.7167	0.6576		
种群趋势指数 Index of population developmental trend（I）						1.9922	1.1581		

第 2 代调查时间为 6 月 15 日 – 7 月 15 日，期间平均气温 24.4℃，最高气温 33.4℃，最低气温 18.5℃，降雨量 5.6 mm。The 2nd generation was tested from June 15 to July 15，during which the mean temperature of air was 24.4℃，the highest and lowest temperatures of air were 33.4℃ and 18.5℃，respectively，and the rainfall was 5.6 mm. 表 7 同 The same for Table 7.

表 7 两种烟田第 3 代棉铃虫的自然种群生命表

Table 7 Natural population life table of *H. armigera* in the 3rd generation in two types of tobacco fileds

虫期 x	起始数 l_x 普通烟草 *N. tabacum*	起始数 l_x 黄花烟草 *N. rustica*	消亡因素 d_xF	消亡数 d_x 普通烟草 *N. tabacum*	消亡数 d_x 黄花烟草 *N. rustica*	存活率 S_x 普通烟草 *N. tabacum*	存活率 S_x 黄花烟草 *N. rustica*	*EIPC* 普通烟草 *N. tabacum*	*EIPC* 黄花烟草 *N. rustica*
卵期 Egg	1000	1000	捕食 Predation	168.7	48.2	$S_1=0.8313$	$S_1=0.9518$	1.2030	1.0506
			寄生 Parasitism	69.3	74.7	$S_2=0.9167$	$S_2=0.9215$	1.0909	1.0852
			不孵化 Unhatched	43.3	24.9	$S_3=0.9432$	$S_3=0.9716$	1.0602	1.0292
			自然损失 Natural loss	75.3	60.5	$S_4=0.8952$	$S_4=0.9290$	1.1170	1.0764
			合计 Total	356.6	208.3				
1 龄 1st instar	643.4	791.7	捕食 Predation	161.4	102.6	$S_5=0.7492$	$S_5=0.8704$	1.3348	1.1489
			寄生 Parasitism	23.3	102.6	$S_6=0.9516$	$S_6=0.8511$	1.0508	1.1750
			病菌 Disease	108.8	14.7	$S_7=0.7627$	$S_7=0.9750$	1.3111	1.0256
			烟草和其他 Tobacco and others	125.4	381.2	$S_8=0.6415$	$S_8=0.3333$	1.5588	3.0000
			合计 Total	419.0	601.1				
2 龄 2nd instar	224.4	190.6	捕食 Predation	69.0	40.8	$S_9=0.6926$	$S_9=0.7858$	1.4439	1.2726
			寄生 Parasitism	29.0	38.0	$S_{10}=0.8136$	$S_{10}=0.7463$	1.2292	1.3400
			病菌 Disease	39.5	4.5	$S_{11}=0.6875$	$S_{11}=0.9600$	1.4545	1.0417
			烟草和其他 Tobacco and others	29.5	50.8	$S_{12}=0.6604$	$S_{12}=0.5263$	1.5143	1.9000
			合计 Total	167.0	134.1				
3 龄 3rd instar	57.4	56.5	捕食 Predation	3.4	8.5	$S_{13}=0.9410$	$S_{13}=0.8503$	1.0627	1.1760
			寄生 Parasitism	3.0	4.1	$S_{14}=0.9437$	$S_{14}=0.9138$	1.0597	1.0943
			病菌 Disease	18.3	23.2	$S_{15}=0.6418$	$S_{15}=0.4717$	1.5581	2.1200
			烟草和其他 Tobacco and others	13.6	12.0	$S_{16}=0.5849$	$S_{16}=0.4211$	1.7097	2.3750
			合计 Total	38.3	47.8				
4 龄 4th instar	19.1	8.7	捕食 Predation	0.4	0.3	$S_{17}=0.9775$	$S_{17}=0.9630$	1.0230	1.0385
			寄生 Parasitism	0.3	0.0	$S_{18}=0.9855$	$S_{18}=1.0000$	1.0147	1.0000
			病菌 Disease	8.1	2.3	$S_{19}=0.5588$	$S_{19}=0.7212$	1.7895	1.3867
			烟草和其他 Tobacco and others	4.7	2.0	$S_{20}=0.5472$	$S_{20}=0.6667$	1.8276	1.5000
			合计 Total	13.5	4.7				
5～6 龄 5–6th instar	5.6	4.0	捕食 Predation	0.1	0.1	$S_{21}=0.9810$	$S_{21}=0.9744$	1.0194	1.0263
			寄生 Parasitism	0.3	0.0	$S_{22}=0.9487$	$S_{22}=1.0000$	1.0541	1.0000
			病菌 Disease	1.0	1.5	$S_{23}=0.8108$	$S_{23}=0.6111$	1.2333	1.6364
			烟草和其他 Tobacco and others	0.3	0.2	$S_{24}=0.9245$	$S_{24}=0.9123$	1.0816	1.0962
			合计 Total	1.7	1.8				
蛹期 Pupa	3.9	2.2	土壤微生物和雨水等 Microbes in soil and rain *etc*.	2.0	1.0	$S_{25}=0.4800$	$S_{25}=0.5600$	2.0833	1.7857
成虫 Adult	1.9	1.2	羽化后死亡等 Death after emergence *etc*.	0.5	0.2	$S_{26}=0.7500$	$S_{26}=0.8571$	1.333	1.1667
			雌性比（P♀）			1.1250	1.1538		
			最高产卵量（F）			1189	838		
			实际产出率（P_F）			0.7600	0.6326		
种群趋势指数 Index of population developmental trend（I）						1.5994	0.6435		

第 3 代调查时间为 7 月 20 日 – 8 月 18 日，期间平均气温 26.3℃，最高气温 37.3℃，最低气温 18.9℃，降雨量 19.5 mm。The 3rd generation was tested from July 20 to August 18, during which the mean temperature of air was 26.3℃, the highest was 37.3℃, the lowest was 18.9℃, and the rainfall was 19.5 mm.

从主要作用因子对棉铃虫连续两个世代的控制效果可以看出，普通烟田和黄花烟田中均以‘烟草和其他’的控制作用最大，如果排除该因子的作用，两个世代后棉铃虫种群将分别增长到原来的 68.7570 倍和 492.9130 倍。

3 讨论

昆虫对寄主植物的消化、转化和利用率等指标能反映昆虫在该植物上生长的优劣程度，常被用来

表 8　两种烟田影响棉铃虫第 2～3 代自然种群的重要因子分析

Table 8　Analysis of important factors for natural populations of *H. armigera* in two generations

烟田类型 Type of tobacco		各作用因子的排除作用控制指数									
		捕食性天敌 Predators		寄生性天敌 Parasitoids		病原微生物 Pathogenic microorganism		不孵化 Unhatched		烟草和其他 Tobacco and others	
		第 2 代 2nd generation	第 3 代 3rd generation	第 2 代 2nd generation	第 3 代 3rd generation	第 2 代 2nd generation	第 3 代 3rd generation	第 2 代 2nd generation	第 3 代 3rd generation	第 2 代 2nd generation	第 3 代 3rd generation
普通烟草 *N. tabacum*	卵 Egg	1.3186	1.2030	1.1359	1.0909	–	–	1.0300	1.0602	1.1084	1.1170
	1～3 龄 1st – 3nd instar	3.5791	2.0481	1.3619	1.3688	1.8073	2.9715	–	–	4.1384	4.0357
	4～6 龄 4th – 6th instar	1.4133	1.0428	1.0000	1.0696	1.7138	2.2070	–	–	1.6820	1.9768
	合计 Total	6.6701	2.5692	1.5470	1.5971	3.0974	6.5581	1.0300	1.0602	7.7158	8.9112
	连续两代 Two generations	17.1368		2.4707		20.3131		1.0920		68.7570	
黄花烟草 *N. rustica*	卵 Egg	1.0625	1.0506	1.1048	1.0852	–	–	1.0500	1.0292	1.1441	1.0764
	1～3 龄 1st – 3nd instar	1.9675	1.7195	1.6134	1.7230	1.7500	2.2650	–	–	12.2103	13.5375
	4～6 龄 4th – 6th instar	1.1058	1.0658	1.0000	1.0000	2.2599	2.2691	–	–	1.4727	1.6442
	合计 Total	2.3115	1.9254	1.7824	1.8699	3.9549	5.1394	1.0500	1.0294	20.5731	23.9591
	连续两代 Two generations	4.4506		3.3329		20.3258		1.0809		492.9130	

表示昆虫对植物的利用情况和嗜食程度(钦俊德，1980，1987；董钧锋，2002)。寄主植物的营养成分影响着昆虫的行为、生长发育和繁殖,适宜的寄主既对昆虫具有良好的诱致效应和助长取食的作用,又能使其后代具有最大的发育速率、存活率和生殖力(钦俊德,1962)。黄花烟草中蛋白质、总氮和烟碱的含量高于普通烟草,而总糖和还原糖的含量显著低于普通烟草(肖协忠等，1997)。本研究表明,棉铃虫 6 龄幼虫对两种烟草的近似消化率及其相对生长率无显著差异,但对黄花烟草的利用率和转化率显著降低,相对取食量显著增加,说明两种烟草营养成分含量的差异,显著影响幼虫对食物的消化、吸收和利用。棉铃虫幼虫虽不能有效地将取食的黄花烟草转化为自身营养,但可在行为上通过增加取食量来弥补这种生理生化上的不足,表明广食性的棉铃虫能通过灵活多样的适应策略来满足自身生长发育的需要。由此也可推测,黄花烟草中不含抑制幼虫取食的物质,但含有影响中肠消化、吸收的物质,即黄花烟草对棉铃虫的防御物质。寄主与昆虫之间这种防御与适应机制的相互关系是否与黄花烟草中高含量的烟碱或其他物质有关,尚待进一步研究。

昆虫种群的丰盛度主要由种群的发育速率、存活率及繁殖力综合决定,种群趋势指数和内禀增长率是衡量昆虫种群增长及增殖能力的重要指标,能够为不同寄主条件下昆虫种群丰盛度的比较提供重要的理论依据,一般而言,在寄主植物上较短的发育时间和较大的繁殖能力能够反应出某种昆虫对特定寄主的适应性(van Lenteren and Lucas，1990；李小珍等，2004)。室内条件下,棉铃虫在两种烟草上的发育历期、存活率和产卵量等均存在显著差异,主要表现为黄花烟草延长了幼虫的发育历期,降低了 1 龄和 2 龄幼虫的存活率及成虫的产卵量,导致该种群较低的内禀增长率、较小的净增殖率和周限增长率,即黄花烟草较不适合棉铃虫种群的增长和繁殖；自然条件下,两种烟田内作用因子‘烟草和其他’的控制作用最大,在该因子中除包含烟草抗性外,还包括其他不易统计的因子如气候因素等,但是在本研究中,两种烟草的种植时间和地点都相同,因此气候因素引起的差异可忽略不计,即寄主适合度低是导致黄花烟草上棉铃虫种群小于普通烟草上的主要原因。

综上所述,普通烟草对棉铃虫既有良好的诱致效应(罗梅浩等,2006),又能促进其后代的生长发育和繁殖,是棉铃虫的适宜寄主；而黄花烟草虽能引诱棉铃虫产卵(蒋金炜等,2003),但不能提供最适于后代种群生长发育、存活和繁殖的营养,压低了整个烟田生态系统中棉铃虫的种群数量。因此,生产上可在普通烟田合理间种黄花烟草,这在棉铃虫的综

合治理中具有重要的实际意义。

参考文献(References)

Bo LX, Sun HW, Sun YW, Shu CE, 1997. The host plants of the cotton bollworm, *Helicoverpa armigera* (Hübner) and their fitness. *Acta Phytophylacica Sinica*, 24(1): 1-6. [柏立新, 孙洪武, 孙以文, 束春娥, 1997. 棉铃虫寄主植物种类及其适合性程度. 植物保护学报, 24(1): 1-6]

Chen FJ, Wu G, Ge F, 2004. Growth, development and reproduction of the cotton bollworm, *Helicoverpa armigera* (Hübner) reared on milky grains of wheat grown in elevated CO_2 concentration. *Acta Entomol. Sin.*, 47(6): 774-779. [陈法军, 吴刚, 戈峰, 2004. 在高 CO_2 浓度下生长的小麦对棉铃虫生长发育和繁殖的影响. 昆虫学报, 47(6): 774-779]

Dai XF, Li SY, Guo YY, 1991. The study on life table of the natural population of *Helicoverpa armigera*. *Acta Phytophylacica Sinica*, 18(3): 199-206. [戴小枫, 李世友, 郭予元, 1991. 棉铃虫自然种群生命表研究. 植物保护学报, 18(3): 199-206]

Deng SD, Xu J, Zhang QW, Zhou SW, Xu GJ, 2003. Effect of transgenic *Bt* cotton on population dynamics of the non-target pests and natural enemies of pest. *Acta Entomol. Sin.*, 46(1): 1-5. [邓曙东, 徐静, 张青文, 周世文, 徐冠军, 2003. 转 *Bt* 基因棉对非靶标害虫及害虫天敌种群动态的影响. 昆虫学报, 46(1): 1-5]

Dong JF, Zhang JH, Wang CZ, 2002. Effects of plant allelochemicals on nutritional utilization and detoxication enzyme activities in two *Helicoverpa* species. *Acta Entomol. Sin.*, 45(3): 296-300. [董钧锋, 张继红, 王琛柱, 2002. 植物次生物质对烟青虫和棉铃虫食物利用及中肠解毒酶活性的影响. 昆虫学报, 45(3): 296-300]

Guo JY, Lövei GL, Wan FH, Han ZJ, 2006. Survival and development of the wolf spider, *Alopecosa pulverulenta* feeding on cotton aphid, *Aphis gossypii* propagated on transgenic cotton. *Acta Entomol. Sin.*, 49(5): 792-799. [郭建英, Gabor L. LÖVEI, 万方浩, 韩召军, 2006. 取食转基因抗虫棉上的棉蚜对粉舞蛛存活和发育的影响. 昆虫学报, 49(5): 792-799]

Guo YY, 1998. Research of *Helicoverpa armigera*. China Agriculture Press, Beijing. [郭予元, 1998. 棉铃虫的研究. 北京: 中国农业出版社]

He YR, Lu LH, Pang XF, 2000. Construction and analysis of the natural population life table for continuous generation of the diamondback moth, *Plutella xylostella* L. *Journal of South China Agricultural University*, 21(1): 34-37. [何余容, 吕利华, 庞雄飞, 2000. 小菜蛾自然种群连续世代生命表的组建与分析. 华南农业大学学报, 21(1): 34-37]

Hou ML, Sheng CF, 2000. Effects of different foods on growth, development and reproduction of cotton bollworm, *Helicoverpa armigera* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae). *Acta Entomol. Sin.*, 43(2): 168-175. [候茂林, 盛承发, 2000. 食物对棉铃虫生长发育及繁殖的影响. 昆虫学报, 43(2): 168-175]

Jiang JW, Guo XR, Luo MH, Zheng XJ, Zhang SH, 2003. The seasonal characters of arthropod community in different types of tobacco. *Acta Tabacaria Sinica*, 9(1): 35-38. [蒋金炜, 郭线茹, 罗梅浩, 郑晓军, 张树华, 2003. 不同类型烟草上节肢动物群落的季节特征. 中国烟草学报, 9(1): 35-38]

Jiang YN, 1994. Tobacco: Plant Genetic Resources of China. China Agriculture Press, Beijing. 523-539. [蒋予恩, 1994. 烟草: 中国作物遗传资源. 北京: 中国农业出版社. 523-539]

Li XZ, Liu YH, Tian Y, 2004. Effects of six host plants on the development and fecundity of *Cicadulina bipunctella*. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 15(8): 1 431-1 434. [李小珍, 刘映红, 田艳, 2004. 六种寄主植物对二点叶蝉生长发育和繁殖的影响. 应用生态学报, 15(8): 1 431-1 434]

Lu LH, He YR, Pang XF, 2003. Effects of cruciferous vegetables on natural populations of the diamondback moth, *Plutella xylostella* L. (Lepidoptera: Plutellidae). *Acta Ecologica Sinica*, 23(12): 2 624-2 630. [吕利华, 何余容, 庞雄飞, 2003. 四种十字花科蔬菜上小菜蛾自然种群连续世代生命表. 生态学报, 23(12): 2 624-2 630]

Luo MH, Xue WW, Liu XG, Zhao GQ, 2006. Studies on the attraction effect of different tobacco varieties to oviposition of *Helicoverpa assulta* Guenée and *H. armigera* Hübner. *Journal of Henan Agricultural University*, 40(2): 198-200. [罗梅浩, 薛伟伟, 刘晓光, 赵国强, 2006. 不同烟草品种对烟实夜蛾和棉铃虫产卵引诱作用的研究. 河南农业大学学报, 40(2): 198-200]

Morris RF, Miller CA, 1954. The development of life table for the spruce budworm. *Canadian Journal of Zoology*, 32: 283-301.

Pang XF, 1990. Index of population control and its application. *Acta Phytophylacica Sinica*, 17(1): 11-16. [庞雄飞, 1990. 种群控制指标及其应用. 植物保护学报, 17(1): 11-16]

Pang XF, Liang GW, 1995. System Control of Pest Population. Guangdong Science and Technology Press, Guangzhou. 24-30. [庞雄飞, 梁广文, 1995. 害虫种群系统的控制. 广州: 广东科学技术出版社. 24-30]

Qin JD, 1962. Host specificity and nutrition of phytophagous insects. *Acta Entomol. Sin.*, 11(2): 169-185. [钦俊德, 1962. 植食性昆虫的食性和营养. 昆虫学报, 11(2): 169-185]

Qin JD, 1980. The physiological bases of phagous-characters of herbivore insect. *Acta Entomol. Sin.*, 23(1): 106-122. [钦俊德, 1980. 植食性昆虫食性的生理基础. 昆虫学报, 23(1): 106-122]

Qin JD, 1987. The Relationship between Insects and Plants: Insect-Plant Interactions and Their Coevolution. Science Press, Beijing. 38-58. [钦俊德, 1987. 昆虫与植物的关系——论昆虫与植物的相互作用及其演化. 北京: 科学出版社. 38-58]

Singh OP, Parihar SBS, 1988. Effect of different hosts on the development of *Heliothis armigera* Hüb. *Bulletin of Entomological Research*, 29(2): 168-172.

Tan SJ, Chen XF, Li DM, 2002. Progress in studies on *Helicoverpa* spp. resistance to transgenic Bt cotton and its management strategy. *Acta Entomol. Sin.*, 45(1): 138-144. [谭声江, 陈晓峰, 李典谟, 2002. 棉铃虫对转 Bt 基因棉的抗性及其治理策略研究进展. 昆虫学报, 45(1): 138-144]

Tang DL, Wang CZ, Luo LE, Qin JD, 2000. Comparative study on the responses of maxillary sensilla styloconica of cotton bollworm *Helicoverpa armigera* and oriental tobacco budworm *H. assulta* larvae to phytochemicals. *Sci. China* (*Ser. C*), 43(6): 606-613.

van Lenteven JC，Lucas PJJ，1990. Whitefly-plant relationship：Behavioral and ecological aspects. In：Gerling D ed. Whiteflies：Their Bionomics，Pest Status and Management. Intercept Andover，Hampshire，England. 47 – 89.

Wang CZ，Qin JD，2007. Insect-plant co-evolution：Multitrophic interactions concerning *Helicoverpa* species. *Entomol. Knowl.*，44(3)：311 – 319.［王琛柱，钦俊德，2007. 昆虫与植物的协同进化：寄主植物-铃夜蛾-寄生蜂相互作用. 昆虫知识，44(3)：311 – 319］

Wu KJ，Chen YP，Li MH，1978. Life table of the experimental population of *Helicoverpa armigera* at different temperatures. *Acta Entomol. Sin.*，21(4)：385 – 392.［吴坤君，陈玉平，李明辉，1978. 不同温度下的棉铃虫实验种群生命表. 昆虫学报，21(4)：385 – 392］

Wu KJ，Gong PY，1997. A new and practical artificial diet for the cotton bollworm. *Entomologia Sinica*，4(3)：277 – 282.

Wu KJ，Li C，Li MH，1979. Preliminary analysis on life table of the natural population of *Helicoverpa armigera*. *Entomol. Knowl.*，16(5)：225 – 230.［吴坤君，李超，李明辉，1979. 棉铃虫自然种群生命表及其初步分析. 昆虫知识，16(5)：225 – 230］

Wu KJ，Li MH，1993. Nutritional ecology of the cotton bollworm，*Helicoverpa armigera*（Hübner）：Life table of the population on the artificial diet with differential protein levels. *Acta Entomol. Sin.*，36(1)：21 – 28.［吴坤君，李明辉，1993. 棉铃虫营养生态学研究：取食不同蛋白质含量饲料时的种群生命表. 昆虫学报，36(1)：21 – 28］

Wu ZJ，1983. Preliminary study on life table of the natural population of *Helicoverpa armigera*. *Entomol. Knowl.*，20(2)：64 – 69.［吴子江，1983. 棉铃虫自然种群生命表的初步研究. 昆虫知识，20(2)：64 – 69］

Xia JY，Wang CY，Cui SZ，2000. Comparative studies of natural population life table of *Helicoverpa armigera* in different type of cotton fields. *Acta Gossypii Sinica*，12(6)：281 – 287.［夏敬源，王春义，崔素贞，2000. 不同类型棉田棉铃虫自然种群生命表比较研究. 棉花学报，12(6)：281 – 287］

Xiao XZ，1997. Chemistry of Tobacco. China Agricultural Scientech Press，Beijing. 61 – 80.［肖协忠，1997. 烟草化学. 北京：中国农业科技出版社. 61 – 80］

Xu RM，1987. The Ecology of Insect Population. Beijing Normal University Press，Beijing.［徐汝梅，1987. 昆虫种群生态学. 北京：北京师范大学出版社.］

Ruan YM，Wu KJ，2001. Performances of the cotton bollworm，*Helicoverpa armigera* on different food plants. *Acta Entomol. Sin.*，44(2)：205 – 212.［阮永明，吴坤君，2001. 不同食料植物对棉铃虫生长发育和繁殖的影响. 昆虫学报，44(2)：205 – 212］

Zhou ZS，Chen ZP，Deng HB，Chen YM，Xu ZF，2007. Life table of natural population of *Spodoptera litura*（Fabricius）on tobacco and taro. *Acta Ecologica Sinica*，27(4)：1 515 – 1 523.［周忠实，陈泽鹏，邓海宾，陈永明，许再福，2007. 烟草和香芋上斜纹夜蛾的自然种群生命表. 生态学报，27(4)：1 515 – 1 523］

Zhang Y，Wang KY，Yuan XL，Pang YH，Ma H，2006. Growth，development and fecundity of oriental tobacco budworm，*Helicoverpa assulta*，reared on an artificial diet and a natural plant diet. *Entomol. Knowl.*，43(4)：545 – 548.［张勇，王开运，原晓玲，庞云红，马惠，2006. 人工饲料与天然饲料饲养条件下烟青虫的生长发育和繁殖力比较. 昆虫知识，43(4)：545 – 548］

（责任编辑：袁德成）